

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G05B	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/03311 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 20. Januar 2000 (20.01.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01951 (22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 1999 (01.07.99) (30) Prioritätsdaten: 198 30 536.2 8. Juli 1998 (08.07.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FEITEN, Wendelin [DE/DE]; Max-Löw-Strasse 47, D-85579 Neubiberg (DE). RENCKEN, Wolfgang [ZA/DE]; Tsingtauerstrasse 86A, D-81827 München (DE). (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING A SIMILARITY OF MEASURE BETWEEN A FIRST STRUCTURE AND AT LEAST ONE PREDETERMINED SECOND STRUCTURE		
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERMITTLUNG EINES ÄHNLICHKEITSMASSES EINER ERSTEN STRUKTUR MIT MINDESTENS EINER VORGEgebenEN ZWEITEN STRUKTUR		
(57) Abstract According to the invention, at least one base element is defined for each of the structures, and a piece of information with regard to the surroundings is assigned to each base element. The piece of information with regard to the surroundings characterizes the corresponding base element. A similarity of measure is determined for the structures, whereby the determination is made according to the base elements and to the piece of information with regard to the surroundings which is assigned to said base elements.		
(57) Zusammenfassung Für die Strukturen wird jeweils mindestens ein Basiselement definiert, denen jeweils Umgebungsinformation zugeordnet wird. Die Umgebungsinformation charakterisiert das entsprechende Basiselement. Für die Strukturen wird ein Ähnlichkeitsmaß ermittelt, wobei die Ermittlung abhängig von den Basiselementen sowie von der den Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformation erfolgt.		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung eines Ähnlichkeitsma-
Bes einer ersten Struktur mit mindestens einer vorgegebenen
5 zweiten Struktur

Die Erfindung betrifft die rechnergestützte Ermittlung eines
Ähnlichkeitsmaßes einer ersten Struktur mit mindestens einer
vorgegebenen zweiten Struktur.

10

Ein solches Verfahren ist aus [1] bekannt. Bei diesem Verfah-
ren der Bildverarbeitung wird im Rahmen einer Bewegungsschät-
zung zwischen zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern für
einen zu codierenden Bildblock in dem zeitlich vorangegange-
nen Bild ein möglichst dem zu codierenden Bildblock ähnlicher
15 Bildbereich gesucht. Dies erfolgt dadurch, daß eine Summe
über die quadratischen Differenzen der den Bildpunkten zuge-
ordneten Codierungsinformation (Helligkeitswert oder Farb-
wert) der Bildpunkte des zu codierenden Bildblocks und der
20 Bildpunkte in einem untersuchten Bereich in dem zeitlich vor-
angegangenen Bild ermittelt wird. Dies bedeutet, daß zum Ver-
gleich zweier Strukturen in bei diesem Ansatz aus [1] die ge-
samte erste Struktur (zu codierender Bildblock) mit einer
zweiten Struktur (Bereich im zeitlich vorangegangenen Bild) in
25 seiner Gesamtheit verglichen wird.

Diese Vorgehensweise ist äußerst aufwendig hinsichtlich des
benötigten Speicherplatzbedarfs zur Speicherung der Struktu-
ren sowie hinsichtlich des Rechenzeitbedarfs zur Ermittlung
30 des Ähnlichkeitsmaßes (in diesem Fall ist das Ähnlichkeitsmaß
die Summe der quadratischen Differenzen).

Aus [2] ist es bekannt, daß zum Vergleich einer Struktur die
Elemente der Struktur als Polygonzüge aufgefaßt werden und
35 die Polygonzüge in ihrer Gesamtheit verglichen werden, wobei
Winkel zwischen miteinander verbundenen Elementen der Poly-
gonzüge berücksichtigt werden.

Dieser Ansatz birgt insbesondere den Nachteil in sich, daß er nicht robust ist gegenüber Aufnahmen, die von einem Roboter zu seiner Orientierung in einem vorgegebenen Raum gemacht werden. Der Raum ist in diesem Fall durch eine vorgegebene gespeicherte Landkarte repräsentiert.

Wenn von dem Roboter einige Elemente des Polygonzuges nicht aufgenommen werden, so ist das aus [2] bekannte Verfahren nicht ausreichend robust, um zu Ergebnissen ausreichender Qualität zu führen. Auch ist der für den Vergleich des aufgenommenen Bildes mit der Landkarte, um Strukturen miteinander zu vergleichen, äußerst rechenaufwendig.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Ähnlichkeitsmaß einer ersten Struktur mit mindestens einer vorgegebenen zweiten Struktur zu ermitteln, welches robust ist gegen mögliche Aufnahmefehler sowie schneller durchführbar ist mit geringerem Rechenzeitaufwand als die bekannten Verfahren.

Das Problem wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 sowie durch die Anordnung gemäß Patentanspruch 27 gelöst.

Bei dem Verfahren wird für die erste Struktur und die zweite Struktur jeweils mindestens ein Basiselement definiert. Den Basiselementen wird jeweils Umgebungsinformation zugeordnet, die das entsprechende Basiselement charakterisiert. Für die erste Struktur und die zweite Struktur wird das Ähnlichkeitsmaß ermittelt, mit dem die Ähnlichkeit der ersten Struktur mit der zweiten Struktur beschrieben wird. Die Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes erfolgt abhängig von den Basiselementen sowie von der den Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformation.

Die Anordnung weist einen Prozessor auf, der derart eingerichtet ist, daß folgende Schritte durchführbar sind:

- für die erste Struktur und die zweite Struktur wird jeweils mindestens ein Basiselement definiert,
- den Basiselementen wird jeweils Umgebungsinformation zugeordnet,
- 5 - die Umgebungsinformation charakterisiert das entsprechende Basiselement,
- für die erste Struktur und die zweite Struktur wird das Ähnlichkeitsmaß ermittelt, mit dem die Ähnlichkeit der ersten Struktur mit der zweiten Struktur beschrieben wird, und
- 10 - die Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes erfolgt abhängig von den Basiselementen sowie von der den Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformation.

15 Die Erfindung zeichnet sich durch einen gegenüber dem Stand der Technik erheblich geringeren Rechenzeitbedarf zur Durchführung der Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes sowie durch eine erhöhte Robustheit gegen mögliche Sensorfehler oder Modellierungsfehler aus.

20 Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die Strukturen können in einer Landkarte enthalten sein, die mit einem Aufnahmemittel, zum Beispiel einem Laserscanner
25 oder einer Kamera aus der Umgebung als Szene aufgenommen wird. In diesem Fall gilt es, die aufgenommenen Strukturen mit einer gespeicherten Landkarte zu vergleichen, um sich somit zu orientieren oder eine Landkarte aufzubauen, die zur Orientierung eingesetzt werden kann.

30 Die Genauigkeit des Verfahrens wird erhöht, wenn das Ähnlichkeitsmaß aufgrund mehrerer Basiselemente und deren jeweils zugeordneter Umgebungsinformation ermittelt wird.

35 In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, daß zumindest ein Teil der Basiselemente eine Linie, eine Strecke oder auch ein Punkt ist.

Die Umgebungsinformation kann durch weitere Basiselemente und deren geometrische Anordnung relativ zu den Basiselementen gebildet werden.

5

Die Basiselemente können unterschiedliche Form haben.

10 Durch eine Weiterbildung der Erfindung, daß mindestens ein Teil der Umgebungsinformation derart gebildet wird, daß sie invariant ist gegen Fehler, die beim Aufbau der Landkarte auftreten, wird eine weitere qualitative Verbesserung der Ergebnisse erzielt.

15 Eine weitere Vereinfachung der Erfindung kann dadurch erreicht werden, daß in einer bevorzugten Weiterbildung die weiteren Basiselemente in mehrere Umgebungsinformationstypen gruppiert werden, die Umgebungsinformationsmerkmale enthalten, welche jeweils einem Umgebungsinformationstyp zugeordnet werden.

20

Die einem Umgebungsinformationstypen zugeordneten Umgebungsinformationsmerkmale können in einer Liste in einer vorgebbaren Weise sortiert gespeichert werden.

25 Die Sortierung kann so ausgeführt werden, daß sie invariant gegen die oben dargestellten Fehler beim Aufbau der Landkarte ist.

30 Bevorzugt wird das Ähnlichkeitsmaß mittels dynamischer Programmierung ermittelt.

Die Strukturen können jeweils ein physikalisches Objekt, beispielsweise einen aufgenommenen Raum oder auch eine aufgenommene Szene sowie beispielsweise Wände, Türen, oder beliebige
35 andere Objekte, beschreiben.

Es ist in einer Alternative ebenso möglich, daß die erste Struktur ein physikalisches Objekt beschreibt und die zweite Struktur ein Modell eines physikalischen Objekts.

- 5 Die Strukturen können ferner Datenstrukturen in einer Datenbank repräsentieren.

Die Erfindung kann bevorzugt eingesetzt werden zur Orientierung einer mobilen autonomen Vorrichtung oder auch zur Ermittlung einer Landkarte zur Orientierung dieser Vorrichtung.
10

In einer bevorzugten Weiterbildung ist die autonome Vorrichtung ein Roboter.

- 15 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

Es zeigen

Figuren 1a und 1b eine Skizze eines Gangs, in dem sich ein Roboter orientieren soll (Figur 1a) sowie eine symbolische Skizze der Aufnahmen des Roboters und dessen Umsetzung in eine Landkarte, wobei ein Fehler bei der Ermittlung der Landkarte und dessen Auswirkungen auf die Abbildung des Gangs gegenüber dem tatsächlichen Gang aus Figur 1a dargestellt ist (Figur 1b);
20
25

Figur 2 eine Skizze eines Roboters mit Aufnahmemitteln;

Figuren 3a bis 3c Skizzen jeweils eines Basiselements mit verschiedenen Umgebungsinformationstypen und Umgebungsinformationsmerkmalen;
30

Figur 4 eine Skizze in der eine Anwendung des Verfahrens dargestellt ist, bei der eine Struktur ein Modell eines physikalischen Objekts darstellt;
35

Figur 5 ein Ablaufdiagramm, in dem Verfahrensschritte eines Ausführungsbeispiels dargestellt sind.

Fig.2 zeigt einen Roboter 201 mit mehreren Laserscannern 202.

5 Die Laserscanner 202 nehmen Bilder einer Umgebung des Roboters 201 auf und führen die Bilder einer Recheneinheit 203 über Verbindungen 204, 205 zu.

Über eine Eingangs-/ Ausgangsschnittstelle 206, die über einen Bus 207 mit einem Speicher 208 sowie einem Prozessor 209 verbunden ist, werden die Bildsignale dem Speicher 208 zugeführt.

15 Das im weiteren beschriebene Verfahren wird in dem Prozessor 209 durchgeführt. Somit ist der Prozessor 209 derart eingerichtet, daß die im weiteren beschriebenen Verfahrensschritte durchführbar sind.

Fig.1a zeigt symbolisch eine Landkarte 101, die einen Gang 102 darstellt. Der Roboter 201 bewegt sich durch den Gang und nimmt Bilder seiner Umgebung mit den Laserscannern 202 auf. Dabei nimmt er Wände 103 auf. Der Roboter 201 nimmt zu verschiedenen Zeiten Bilder seiner Umgebung auf, wodurch ein Bild der gesamten Landkarte 101 entsteht.

25

In dem Gang 102 sind ferner Hindernisse 104 in Form von Regalen oder auch Schränken oder ähnlichen Gegenständen, die in den Gang 102 hineinragen, vorhanden.

30 Ecken 105, 106, 107 des Gangs 102 werden als Anfangspunkt bzw. Endpunkt einer Wand, die in Form eines Streckenabschnitts gespeichert wird, interpretiert.

Fig.1b stellt die Landkarte aus Fig.1a dar, wenn nicht, wie bei der in Fig.1a dargestellten Situation vorausgesetzt, ideale Aufnahmen gemacht werden, sondern wenn Fehler bei der Aufnahme durch den Roboter 201 passieren.

35

Der Roboter 201 bewegt sich in dem Gang 102 und nimmt in periodischen Abständen Bilder seiner Umgebung auf. Aufgrund der aufgenommenen Bilder sowie der gespeicherten Landkarte 101 orientiert sich der Roboter 201.

Die Orientierung erfolgt derart, daß der Roboter 201 die Bilder dem Prozessor 209 zuführt. In dem Prozessor 209 wird ein Ähnlichkeitsvergleich von Elementen des aufgenommenen Bildes mit Elementen der auf der gespeicherten, vorgegebenen Landkarte 101 ermittelt und versucht, daraus die aktuelle Position des Roboters 201 zu bestimmen.

Der Roboter 201 befindet sich an einer Position 110 und nimmt mit seinem Laserscanner einen Bildbereich 111 auf. Diesen Bildbereich 111 versucht er in Übereinstimmung mit der gespeicherten Landkarte 101 zu bringen um somit Information zu seiner Orientierung zu ermitteln.

Dies entspricht dem Vergleich einer ersten Struktur, die den aufgenommenen Bildbereich 111 charakterisiert mit mindestens einer vorgegebenen zweiten Struktur aus der vorgegebenen, gespeicherten Landkarte 101.

Zu diesem Zweck wird folgendes Verfahren, welches in Fig.5 dargestellt ist, durchgeführt.

In einem ersten Schritt 501 werden aus dem aufgenommenen Bild 111 von dem Prozessor 209 Basiselemente extrahiert.

Unter einem Basiselement ist eine Strecke mit einem Anfangspunkt und einem Endpunkt zu verstehen, die jeweils eine Wand in dem Gang 102 repräsentiert. Weitere Basiselemente sind Punkte oder Linien vorgegebbarer Form.

Die Extraktion erfolgt mit bekannten Methoden der Bildverarbeitung.

Nach der Extraktion der Basiselemente liegt das Bild vor, symbolisch repräsentiert durch eine Menge definierter Basiselemente.

5

Jedem Basiselement wird Umgebungsinformation zugeordnet. Die Umgebungsinformation charakterisiert das entsprechende Basiselement und ermöglicht die Identifizierung des jeweiligen Basiselements innerhalb einer Menge aller Basiselemente.

10

Ein solches Basiselement 301 mit Umgebungsinformation 302, die dem Basiselement zugeordnet ist, ist jeweils in den Fig.3a bis Fig.3c dargestellt.

15

Die Umgebungsinformation wird gebildet durch eine Menge weiterer Basiselemente und deren geometrischer Anordnung relativ zueinander sowie zu dem Basiselement 301 selbst.

20

Die Umgebungsinformation, die dem Basiselement 301 zugeordnet wird, wird derart gebildet, daß sie möglichst invariant ist gegen Fehler, die beim Aufbau der Landkarte 101 durch den Roboter 201 auftreten können.

25

Es hat sich herausgestellt, daß ein Paar orthogonaler Basiselemente in Form von Strecken sich für das Verfahren besonders gut eignen. Es ist dabei anzumerken, daß es nicht auf eine exakte Orthogonalität der Basiselemente ankommt, sondern eine Toleranz ohne weiteres in Kauf genommen werden kann.

30

Die Umgebungsinformation, die dem Basiselement 301 zugeordnet wird, ist der Abstand der Schnittpunkte der parallelen Basiselemente mit dem Basiselement 301, in Fig.3a mit Dx bezeichnet.

35

Ferner wird als Umgebungsinformation ein erster Winkel W1, der einen Schnittwinkel eines ersten weiteren Basiselements

303, welches eine Länge $L1$ aufweist mit dem Basiselement 301, gespeichert.

5 Ferner wird ein zweiter Winkel $W2$, der einen Schnittwinkel des zweiten weiteren Basiselements 304 mit dem Basiselement 301 bezeichnet sowie die Länge $L2$ des zweiten weiteren Basiselements 303 als Umgebungsinformation dem Basiselement 301 zugeordnet.

10 Weitere, dem Basiselement 301 zugeordnete Umgebungsinformation ist eine Angabe des Startpunkts und/oder eines Endpunkts sowie damit auch eine Orientierung jeweils des ersten und/oder des zweiten Basiselements 303, 304.

15 Die Umgebungsinformation wird als Liste, die dem Basiselement 301 zugeordnet wird, gespeichert. Die Liste ist in vorgegebbarer Weise sortiert.

20 Das Paar orthogonaler Basiselemente, wie in Fig.3a dargestellt als Umgebungsinformation, bildet einen Umgebungsinformationstyp.

25 Die oben beschriebenen einzelnen Elemente, die als Umgebungsinformation dem Basiselement 301 zugeordnet werden, bilden Umgebungsinformationsmerkmale, die jeweils dem Umgebungsinformationstyp zugeordnet werden.

30 Ein zweiter Umgebungsinformationstyp ist ein zu dem Basiselement 301 paralleles weiteres Basiselement 310 (vgl. Fig.3b).

35 Wiederum ist keine exakte Parallelität des weiteren Basiselements 310 zu dem Basiselement 301 erforderlich. Als Umgebungsinformationsmerkmale wird ein Abstand Dy zwischen dem Basiselement 301 und dem weiteren, parallelen Basiselement 303 sowie ein dritter Winkel $W3$, zwischen der exakten Parallele 311 des ersten Basiselements 301, verschoben um den Ab-

stand Dy und der tatsächlichen Lage des weiteren, parallelen Basiselements 310, gespeichert.

Fig.3c zeigt einen weiteren Umgebungsinformationstyp in Form von Punkten 320, 321, die Punkte einer Linienstruktur 322 bezeichnen, die am nächsten zu dem Basiselement 301 liegen. In diesem Fall wird ein Abstand zwischen diesen Punkten 320, 321 (bezeichnet als Dz) sowie die kürzesten Abstände N1, N2 der Punkte 320, 321 zu dem Basiselement 301 als Umgebungsinformationsmerkmale gespeichert.

In der vorgegebenen, gespeicherten Landkarte 101 sind den Basiselementen in gleicher Weise jeweils Umgebungsinformationen zugeordnet. Somit weist die gespeicherte Landkarte 101 eine Menge von Basiselementen mit jeweils den Basiselementen zugeordneter Umgebungsinformation in Form von Umgebungsinformationstypen mit den Umgebungsinformationstypen zugeordneten Umgebungsinformationsmerkmalen auf.

Es werden also in einem zweiten Schritt 502 die Umgebungsinformationen jeweils den Basiselementen, die in dem Bildbereich 111 enthalten sind, sowie den in der Landkarte 101 enthaltenen Basiselementen, zugeordnet.

Für jedes Basiselement 301 wird in einem weiteren Schritt 503 mit allen weiteren Basiselementen ein Wert eines Ähnlichkeitsmaßes gebildet.

Im weiteren wird das Ähnlichkeitsmaß näher erläutert.

In diesem Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, daß ein Gesamtwert U der Umgebungsinformation, die dem Basiselement 301 jeweils zugeordnet ist, sich gemäß folgender Vorschrift ergibt:

$$U = (OP, P, MP),$$

wobei mit

- OP die Umgebungsinformationsmerkmale, die von Paaren von senkrecht zueinander orientierten weiteren Basiselementen gebildet wird,
- P die Umgebungsinformationsmerkmale, gebildet von parallelen Basiselementen, und
- MP die Umgebungsinformationsmerkmale der punktförmigen Umgebungsinformationstypen,

bezeichnet werden.

Die Umgebungsinformationsmerkmale liegen in Form von sortierten Listen vor.

Es sei

$$v: U \times U \rightarrow \mathbb{R}_0^+$$

eine formale Definition einer Vergleichsfunktion.

Mit der Vergleichsfunktion v wird zu einem Paar von jeweils zwei Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformationen ein Vergleichswert berechnet. Je höher der Vergleichswert ist, desto besser stimmen die beiden Umgebungsinformationsmerkmale der Basiselemente miteinander überein. Zur Definition der Vergleichsfunktion v werden folgende drei Funktionen vOP , vP , vMP definiert:

$$vOP: OP \times OP \rightarrow \mathbb{R}_0^+$$

$$vP: P \times P \rightarrow \mathbb{R}_0^+$$

$$vMP: MP \times MP \rightarrow \mathbb{R}_0^+,$$

- wobei mit vOP ein Vergleichswert für Umgebungsinformationsmerkmale des Umgebungsinformationstyps mit senkrechten weiteren Basiselementen beschrieben wird und analog mit vP ein Vergleichswert beschrieben wird von Umgebungsinformationsmerkmalen des Umgebungsinformationstyps mit parallelen Basiselementen. Mit vMP wird ein Vergleichswert beschrieben, der Umgebungsinformationsmerkmale des Umgebungsinformationstyps mit Punkten als Umgebungsinformationsmerkmale ermittelt.
- 10 Die Vergleichsfunktion v wird als gewichtete Summe der Funktionen vOP, vP und vMP gemäß folgender Vorschrift definiert.
- $$v(U1, U2) = aOP * vOP(OP1, OP2) + aP * vP(P1, P2) + aMP * vMP(MP1, MP2).$$
- 15 Die Werte aOP, aP und aMP im Zahlenintervall [0,1] werden als Gewichtswerte bezeichnet.
- 20 Mit den Gewichtswerten aOP, aP und aMP werden die unterschiedliche Bedeutungen der einzelnen Umgebungsinformationstypen hinsichtlich des Ähnlichkeitsmaßes berücksichtigt. Es hat sich herausgestellt, daß der Umgebungsinformationstyp der Paare von orthogonalen weiteren Basiselementen OP eine höhere Aussagekraft hinsichtlich des Ähnlichkeitsmaßes als der Umgebungsinformationstyp der parallelen weiteren Basiselemente P und dieser wiederum eine höhere Aussagekraft als der Umgebungsinformationstyp mit Punkten als Umgebungsinformationsmerkmalen besitzt.
- 30 Für jede Funktion vOP, vP, vMP wird für jedes Basiselement und deren Umgebungsinformationsmerkmale jeweils ein Verfahren der dynamischen Programmierung durchgeführt, wodurch ein Zwischenähnlichkeitswert gebildet wird.
- 35 Dies erfolgt jeweils für jede Funktion vOP, vP, vMP unter Verwendung der folgenden Kostenfunktion D_i, j :

13

$$D_{i,j} = \min \begin{cases} D_{i-1,j} + \delta \\ D_{i-1,j} - 1 + \mu, \\ D_{i,j-1} + \delta \end{cases}$$

mit

- 5 - δ , einem vorgebbaren Kostenwert, der auftritt, wenn ein Umgebungsinformationsmerkmal des aufgenommenen Bildbereichs nicht einem Umgebungsinformationsmerkmal der gespeicherten Landkarte 101 zugeordnet werden kann,

10 - $\mu = \frac{\delta}{\lambda}$, mit

$$\lambda = \prod_{k=1}^n \left(\max \left\{ 0, 1 - \frac{|a_{k,i} - a_{k,j}|}{\text{MaxErr}_k} \right\} \right).$$

Mit

15

- k wird ein Index, der jeden Umgebungsinformationstyp, welcher im Rahmen der Dynamischen Programmierung berücksichtigt wird, eindeutig bezeichnet,
- n wird die Anzahl berücksichtigter Basiselemente bezeichnet,
- 20 - $a_{k,i}$ und $a_{k,j}$ werden die einzelnen Umgebungsinformationsmerkmale, die in der sortierten Liste der jeweiligen Umgebungsinformationstypen gespeichert sind, bezeichnet, wobei $a_{k,i}$ ein Umgebungsinformationsmerkmal eines Basiselements des Bildbereichs 111 und $a_{k,j}$ ein Umgebungsinformationsmerkmal
- 25 eines Basiselements der Landkarte 101 bezeichnet,
- MaxErr_k wird ein vorgebbarer, für jeden Umgebungsinformationstyp spezifischer Wert bezeichnet.

30 Der Kostenwert δ ist empirisch so zu bestimmen, daß bei der gegebenen Anwendung

$2 \cdot \delta > \mu$ ist, falls die Zuordnung korrekt ist, und

$\mu > 2 \cdot \delta$ ist, falls die Zuordnung nicht korrekt ist.

Es hat sich folgendes Verhältnis der einzelnen Gewichtswerte
5 als vorteilhaft herausgestellt:

$$aOP : aP : aMP = 3 : 2 : 1.$$

Das Ergebnis der Vergleichsfunktion v bildet einen Wert des
10 Ähnlichkeitsmaßes, mit dem die Ähnlichkeit der ersten Struktur in dem Bildbereich 111 und der zweiten Struktur in der Landkarte 101 beschrieben wird (Schritt 503).

In einem weiteren Schritt 504 wird das Paar von Basiselementen
15 aus der ersten Struktur bzw. der zweiten Struktur ausgewählt, welches Paar den höchsten Wert des Zwischenähnlichkeitswerts aufweist und somit am ähnlichsten zueinander ist.

Für die ausgewählten Basiselemente wird ein kanonisches Koordinatensystem in der jeweiligen Landkarte gebildet, dessen
20 Abszisse durch das jeweilige Basiselement gebildet wird (Schritt 505).

In einem weiteren Schritt 506 wird anschließend ein Abbildungsmaß ermittelt. Mit dem Abbildungsmaß wird für die ausgewählten
25 Basiselemente ermittelt, welcher Betrag einer Translation bzw. Rotation erforderlich ist, um das Koordinatensystem für das Basiselement der ersten Struktur jeweils auf ein Koordinatensystem eines Basiselements einer weiteren Struktur
30 abzubilden.

In dem Schritt 506 wird anschaulich also jeweils ermittelt, wie sehr das Koordinatensystem des ausgewählten Basiselements der ersten Struktur verschoben bzw. „gedreht“ werden muß, um
35 zu dem Koordinatensystem des ausgewählten Basiselements jeweils einer weiteren Struktur zu „passen“.

Es wird der Bereich in der vorgegebenen Landkarte ausgewählt, dessen Abbildungsmaß und/oder dessen Ähnlichkeitsmaß minimal ist verglichen mit dem Koordinatensystem für das Basiselement der ersten Struktur.

5

Ausgehend von dem ausgewählten Basiselement werden weitere Basiselemente paarweise (d.h. jeweils ein Basiselement der ersten Struktur und ein Basiselement der zweiten Struktur) ausgewählt, deren Werte der Ähnlichkeitsmaße größer sind als ein vorgegebbarer Schwellenwert.

10

Nun ist dem Roboter 201 bekannt, wo er sich innerhalb der Landkarte 101 befindet.

15

Somit wird in einem letzten Schritt 507 der Bereich in der vorgegebenen Karte 101 bestimmt, in dem der Roboter 201 sich befindet.

20

Im weiteren werden einige Alternativen des oben beschriebenen Ausführungsbeispiels aufgezeigt:

25

Das oben beschriebene Verfahren kann auch zum allgemeinen Vergleich zweier Strukturen eingesetzt werden, beispielsweise für den Vergleich eines aufgenommenen Bildes mit einem Modell eines physikalischen Objekts.

Ein Beispiel hierfür ist in dem Modell einer Türklinke zu sehen, welche Türklinke der Roboter 201 greifen soll.

30

In dem Speicher 208 der Recheneinheit 203 des Roboters 201 ist ein Modell 401 einer Türklinke 402 gespeichert.

35

Der Strukturvergleich erfolgt auf die oben beschriebene Weise wobei der Scanner des Roboters 201 Bilder seiner Umgebung aufnimmt und nach einer Struktur sucht, die der Struktur des Türklinkenmodells 401 ähnlich ist. Ist eine solche Struktur

ermittelt, so kann ein Greifarm 403 des Roboters 201 an der Türklinke 401, die an einer Tür 404 angebracht ist, greifen.

5 Eine weitere Einsatzmöglichkeit des Verfahrens ist im Bereich von Datenbanken zu sehen. Datenbanken weisen ebenfalls eine Struktur auf, in der die Daten gespeichert sind. Somit kann die Struktur der gespeicherten Datenbank anschaulich auf die oben beschriebene Weise mit einer gesuchten Struktur vergli-
10 chen werden und durch diese geometrische Interpretation der Struktur einer Datenbank kann ein Ausschnitt der Datenbank ermittelt werden, um im Rahmen einer Recherche eine hohe Zuverlässigkeit der Recherchenergebnisse in der Datenbank zu gewährleisten.

15 Ferner kann das Verfahren auch zum sukzessiven Aufbau der Landkarte 101 durch den Roboter 201 eingesetzt werden. Dieses Verfahren dient dann dazu, zu überprüfen, wann der Roboter 201 zu einer Stelle gelangt, an der er schon gewesen ist. In diesem Fall vergleicht der Roboter jeweils die Aufnahme eines
20 Bildes mit den gespeicherten Strukturdaten einer sich im Aufbau befindenden Landkarte 101.

Auch kann das Verfahren allgemein im Rahmen der Mustererkennung bzw. Bildverarbeitung eingesetzt werden, wobei der Re-
25 chenzeitbedarf zur Durchführung des Verfahrens gegenüber den bekannten Verfahren in der Mustererkennung erheblich reduziert wird.

Im Rahmen dieses Dokuments wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] M. Bierling, Displacement Estimation by Hierarchical
Blockmatching, SPIE, Vol. 1001, Visual Communications
and Image Processing '88, S. 942 - 951, 1988
- 10 [2] O. Karch und H. Noltemeier, Autonome Mobile Systeme
1996, G. Schmidt und F. Freyberger, (Hg.), Zum
Lokalisationsproblem für Roboter, Springer Verlag,
ISBN 3-54061-751-5, S. 128 - 137, 1996

Patentansprüche

1. Verfahren zur rechnergestützten Ermittlung eines Ähnlichkeitsmaßes einer ersten Struktur mit mindestens einer vorgegebenen zweiten Struktur,
 - bei dem für die erste Struktur und die zweite Struktur jeweils mindestens ein Basiselement definiert wird,
 - bei dem den Basiselementen jeweils Umgebungsinformation zugeordnet wird,
 - bei dem die Umgebungsinformation das entsprechende Basiselement charakterisiert,
 - bei dem für die erste Struktur und die zweite Struktur das Ähnlichkeitsmaß ermittelt wird, mit dem die Ähnlichkeit der ersten Struktur mit der zweiten Struktur beschrieben wird, und
 - bei dem die Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes abhängig von den Basiselementen sowie von der den Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformation erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem mehrere Basiselemente in den Strukturen enthalten sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Strukturen in mindestens einer Landkarte enthalten sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Landkarte mit einem Aufnahmemittel aufgenommen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Landkarte mit einem Scanner aufgenommen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Landkarte mit einer Kamera aufgenommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem das Ähnlichkeitsmaß aufgrund mehrerer Basiselemente
und deren jeweils zugeordneter Umgebungsinformation ermittelt
wird.

5

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
bei dem zumindest ein Teil der Basiselemente jeweils eine Li-
nie vorgebbarer Form ist.

10

9. Verfahren nach Anspruch 8,
bei dem zumindest ein Teil der Basiselemente jeweils eine
Strecke ist.

15

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
bei dem zumindest ein Teil der Basiselemente jeweils ein
Punkt ist.

20

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
bei dem die Umgebungsinformation durch weitere Basiselemente
und deren geometrischer Anordnung relativ zu den Basiselemen-
ten gebildet wird.

25

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
bei dem die Basiselemente unterschiedliche Formen aufweisen.

30

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
bei dem mindestens ein Teil der Umgebungsinformation derart
gebildet wird, daß sie invariant ist gegen Fehler, die beim
Aufbau der Landkarte auftreten.

35

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
bei dem die weiteren Basiselemente in mehrere Umgebungsinfor-
mationstypen gruppiert werden, die Umgebungsinformationsmerk-
male enthalten, die jeweils einem Umgebungsinformationstyp
zugeordnet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14,

bei dem die einem Umgebungsinformationstypen zugeordneten Umgebungsinformationsmerkmale in einer Liste in einer vorgebbaren Weise sortiert gespeichert werden

- 5 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
bei dem das Ähnlichkeitsmaß mittels Dynamischer Programmierung gebildet wird.
- 10 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
bei dem das Verfahren für mehrere weitere Strukturen durchgeführt wird, wobei jeweils ein Ähnlichkeitsmaß der ersten Struktur mit jeweils einer weiteren Struktur ermittelt wird.
- 15 18. Verfahren nach Anspruch 17,
bei dem das Verfahren mehrfach durchgeführt wird für unterschiedliche Basiselemente, womit mehrere Ähnlichkeitsmaße gebildet werden.
- 20 19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18,
- bei dem die Basiselemente der ersten Struktur und der weiteren Strukturen, welche die größte Übereinstimmung aufweisen, ausgewählt werden,
- bei dem ausgehend von dem ausgewählten Basiselement in jeder Struktur jeweils ein lokales Koordinatensystem gebildet
25 wird,
- bei dem abhängig von der Abbildung des Koordinatensystems der ersten Struktur auf das Koordinatensystem der zweiten Struktur ein Abbildungsmaß gebildet wird,
- bei dem abhängig von dem Abbildungsmaß die Struktur be-
30 stimmt wird, die das geringste Abbildungsmaß aufweist.
20. Verfahren nach Anspruch 19,
bei dem das Abbildungsmaß eine Rotation des lokalen Koordinatensystems von der ersten Struktur auf die jeweilige weitere
35 Struktur beschreibt.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20,

bei dem die Strukturen Datenstrukturen in einer Datenbank beschreiben.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
5 bei dem die Strukturen jeweils ein physikalisches Objekt beschreiben.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
10 bei dem die erste Struktur ein physikalisches Objekt beschreibt und die zweite Struktur ein Modell eines physikalischen Objekts.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
15 eingesetzt zur Ermittlung einer Landkarte für eine mobile autonome Vorrichtung.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
eingesetzt zur Orientierung einer mobilen autonome Vorrichtung.

20 26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25,
bei dem die mobile autonome Vorrichtung ein Roboter ist.

27. Anordnung zur rechnergestützten Ermittlung eines Ähnlichkeitsmaßes einer ersten Struktur mit mindestens einer vorgegebenen zweiten Struktur,
25 mit einem Prozessor, der derart eingerichtet ist, daß folgende Schritte durchführbar sind:

- 30 - für die erste Struktur und die zweite Struktur wird jeweils mindestens ein Basiselement definiert,
- den Basiselementen wird jeweils Umgebungsinformation zugeordnet,
- die Umgebungsinformation charakterisiert das entsprechende Basiselement,
- 35 - für die erste Struktur und die zweite Struktur wird das Ähnlichkeitsmaß ermittelt, mit dem die Ähnlichkeit der ersten Struktur mit der zweiten Struktur beschrieben wird, und

- die Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes erfolgt abhängig von den Basiselementen sowie von der den Basiselementen zugeordneten Umgebungsinformation.

- 5 28. Anordnung nach Anspruch 27,
bei der mehrere Basiselemente in den Strukturen enthalten
sind.
- 10 29. Anordnung nach Anspruch 27 oder 28,
bei der die Strukturen in mindestens einer Landkarte enthal-
ten sind.
- 15 30. Anordnung nach Anspruch 29,
mit einem Aufnahmemittel zur Aufnahme der Landkarte.
31. Anordnung nach Anspruch 30,
mit einem Scanner zur Aufnahme der Landkarte.
- 20 32. Anordnung nach Anspruch 30,
mit einer Kamera zur Aufnahme der Landkarte.
- 25 33. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 33,
bei der das Ähnlichkeitsmaß aufgrund mehrerer Basiselemente
und deren jeweils zugeordneter Umgebungsinformation ermittelt
wird.
- 30 34. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 34,
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß zumindest
ein Teil der Basiselemente jeweils eine Linie vorgegebbarer
Form ist.
- 35 35. Anordnung nach Anspruch 34,
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß zumindest
ein Teil der Basiselemente jeweils eine Strecke ist.
36. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 35,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß zumindest ein Teil der Basiselemente jeweils ein Punkt ist.

37. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 36,
5 bei der die Umgebungsinformation durch weitere Basiselemente und deren geometrischer Anordnung relativ zu den Basiselementen gebildet wird.

38. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 37,
10 bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Basiselemente unterschiedliche Formen aufweisen.

39. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 38,
15 bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß mindestens ein Teil der Umgebungsinformation derart gebildet wird, daß sie invariant ist gegen Fehler, die beim Aufbau der Landkarte auftreten.

40. Anordnung nach einem der Ansprüche 37 bis 39,
20 bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die weiteren Basiselemente in mehrere Umgebungsinformationstypen gruppiert werden, die Umgebungsinformationsmerkmale enthalten, die jeweils einem Umgebungsinformationstyp zugeordnet werden.

25 41. Anordnung nach Anspruch 40, bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die einem Umgebungsinformationstypen zugeordneten Umgebungsinformationsmerkmale in einer Liste in einer vorgebbaren Weise sortiert gespeichert werden

30 42. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 41, bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß das Ähnlichkeitsmaß mittels Dynamischer Programmierung gebildet wird.

35 43. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 42,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß das Verfahren für mehrere weitere Strukturen durchgeführt wird, wobei jeweils ein Ähnlichkeitsmaß der ersten Struktur mit jeweils einer weiteren Struktur ermittelt wird.

5

44. Anordnung nach Anspruch 43,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß das Verfahren mehrfach durchgeführt wird für unterschiedliche Basiselemente, womit mehrere Ähnlichkeitsmaße gebildet werden.

10

45. Anordnung nach Anspruch 43 oder 44,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß

- die Basiselemente der ersten Struktur und der weiteren

Strukturen, welche die größte Übereinstimmung aufweisen, ausgewählt werden,

15

- ausgehend von dem ausgewählten Basiselement in jeder Struktur jeweils ein lokales Koordinatensystem gebildet wird,

- abhängig von der Abbildung des Koordinatensystems der ersten Struktur auf das Koordinatensystem der zweiten Struktur

20

ein Abbildungsmaß gebildet wird,

- abhängig von dem Abbildungsmaß die Struktur bestimmt wird, die das geringste Abbildungsmaß aufweist.

46. Anordnung nach Anspruch 45,

25

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß das Abbildungsmaß eine Rotation des lokalen Koordinatensystems von der ersten Struktur auf die jeweilige weitere Struktur beschreibt.

30

47. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 46,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Strukturen Datenstrukturen in einer Datenbank beschreiben.

48. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 46,

35

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Strukturen jeweils ein physikalisches Objekt beschreiben.

49. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 46,
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die erste
Struktur ein physikalisches Objekt beschreibt und die zweite
Struktur ein Modell eines physikalischen Objekts.
- 5
50. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 46,
eingesetzt zur Ermittlung einer Landkarte für eine mobile au-
tonome Vorrichtung.
- 10
51. Anordnung nach einem der Ansprüche 27 bis 50,
eingesetzt zur Orientierung einer mobilen autonomen Vorrich-
tung.
- 15
52. Anordnung nach Anspruch 50 oder 51,
bei der die mobile autonome Vorrichtung ein Roboter ist.

This Page Blank (uspto,

1/4

FIG 1A

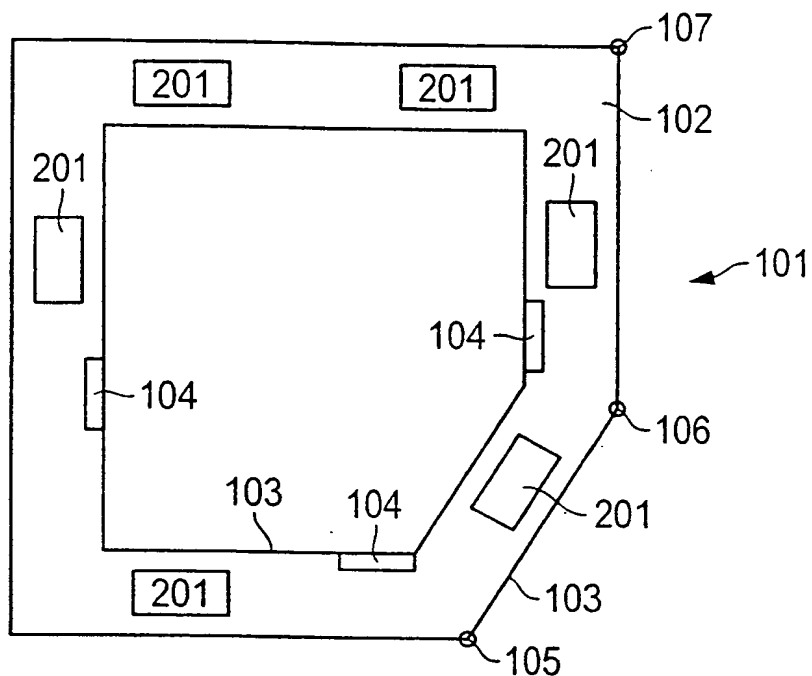
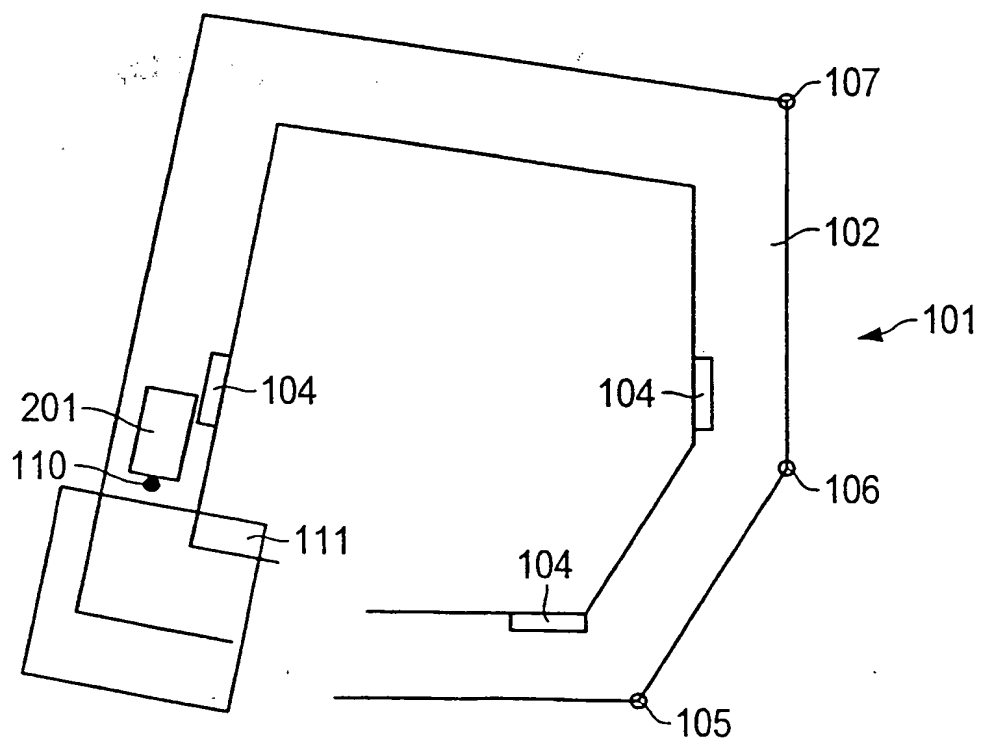


FIG 1B



This Page Blank (uspi)

2/4

FIG 2

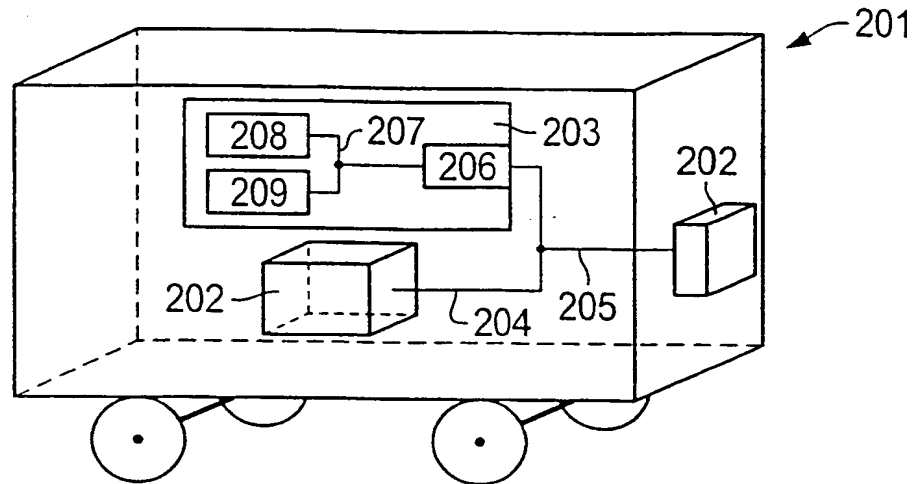
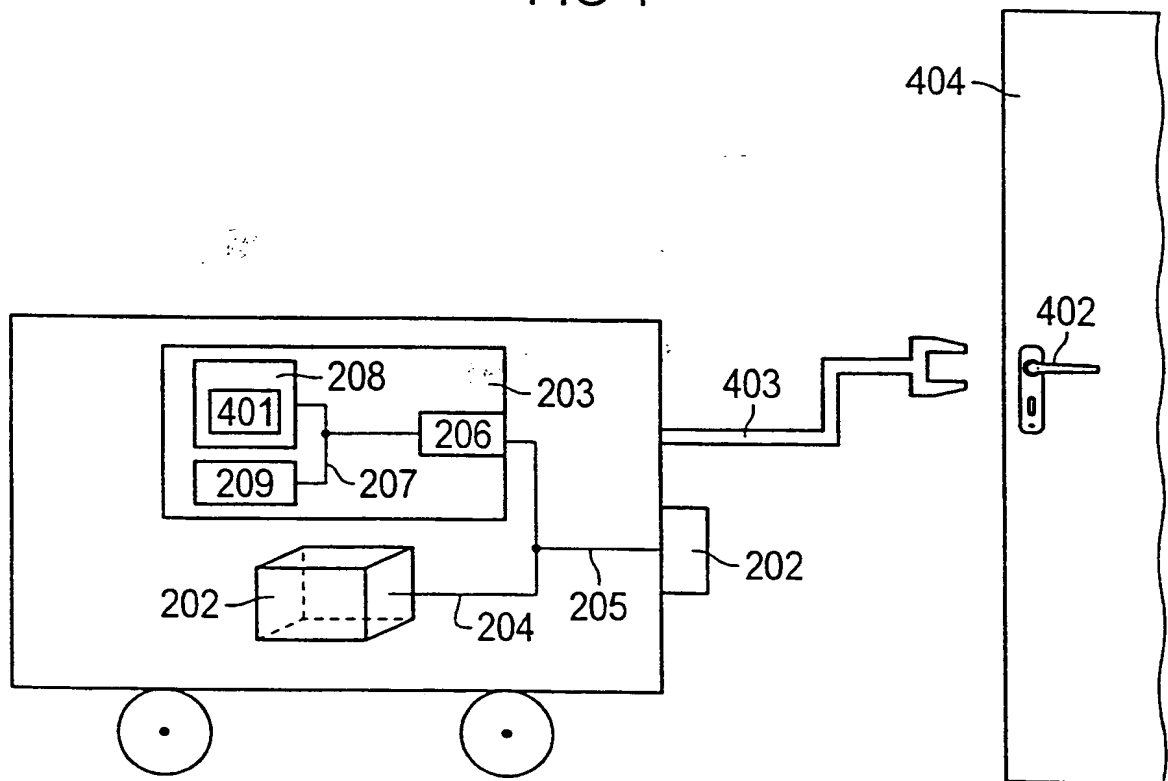


FIG 4



This Page Blank (uspto,

3/4

FIG 3A

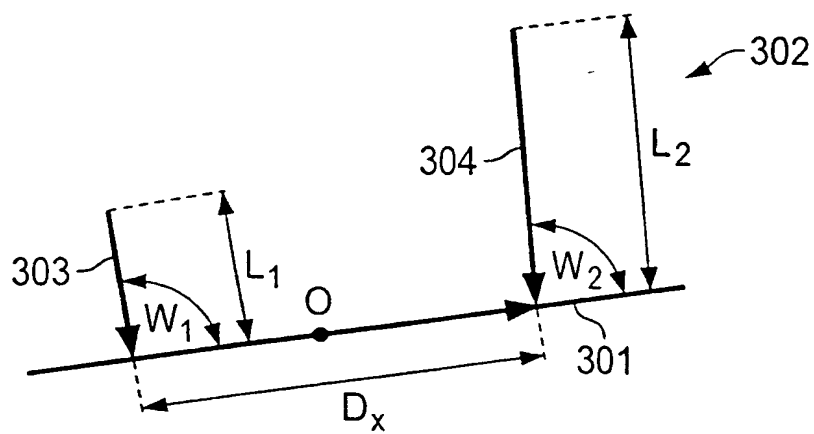


FIG 3B

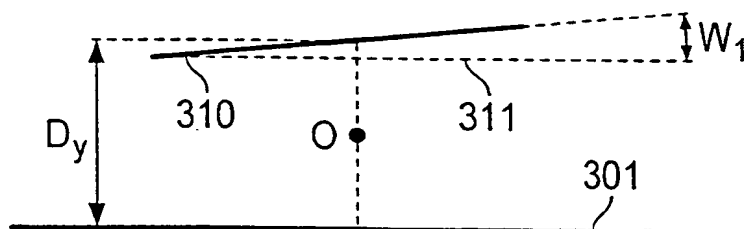
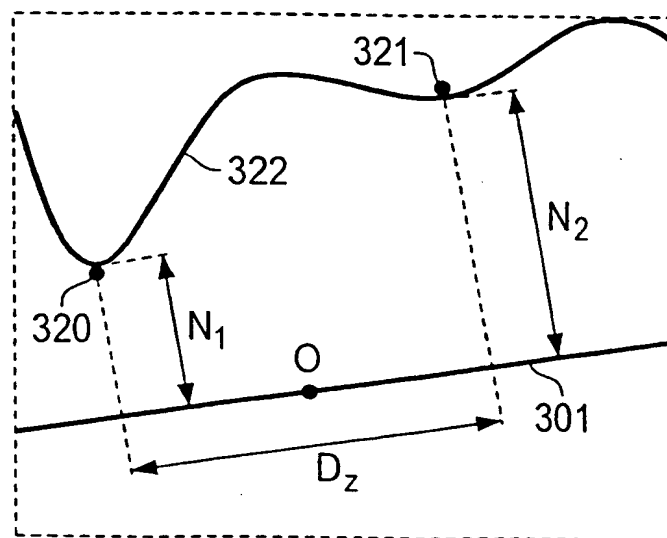


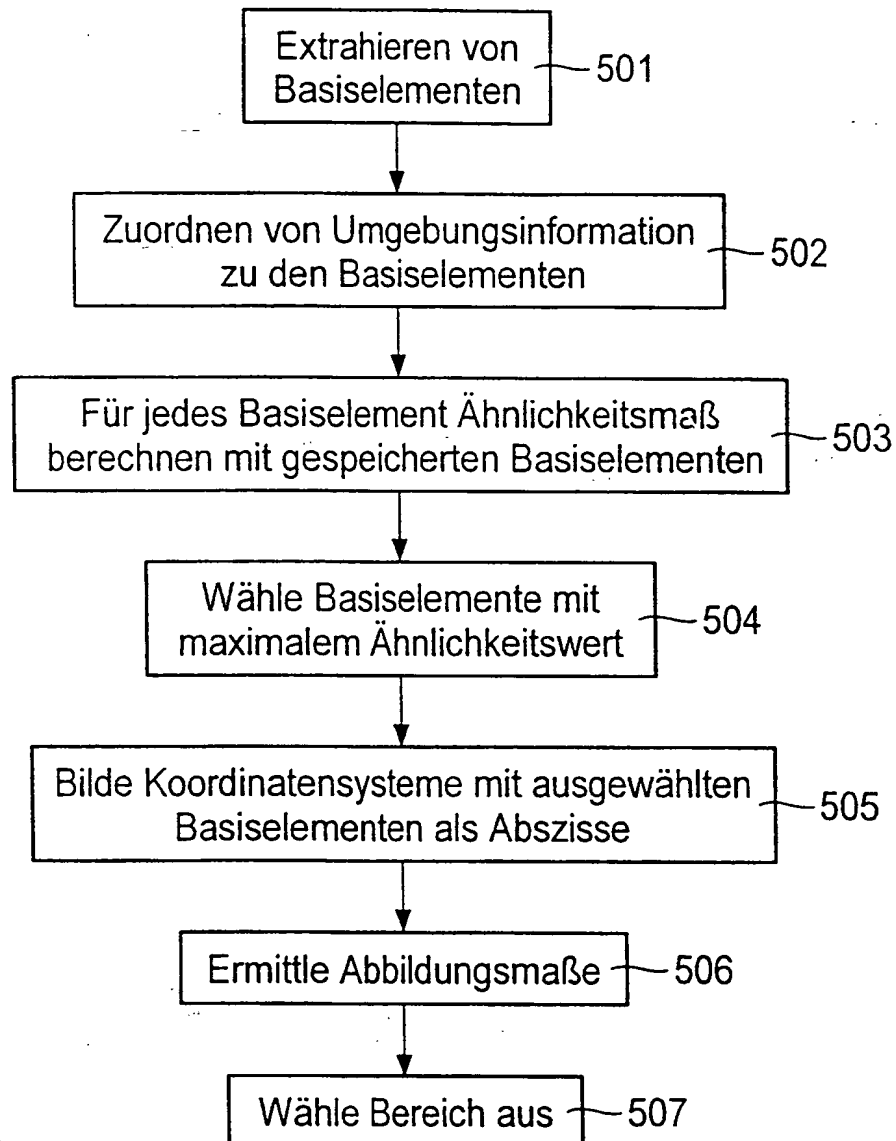
FIG 3C



This Page Blank (uspto)

4/4

FIG 5



This Page Blank (uspto)